

## BARLANGI JÉGKÉPZŐDMÉNYEK KORÁNAK ÉS FEJLŐDÉSÉ- NEK VIZSGÁLATA IZOTÓPOS ELEMZÉSEK ALAPJÁN<sup>1</sup>

KERN ZOLTÁN<sup>2</sup>-NAGY BALÁZS<sup>2</sup>-FÓRIZS ISTVÁN<sup>3</sup>-  
KÁZMÉR MIKLÓS<sup>4</sup>-SZÁNTÓ ZSUZSA<sup>5</sup>

<sup>2</sup>Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természetföldrajzi Tanszék; Budapest  
1117 Pázmány Péter sétány 1/c; kernzoli@freemail.hu

<sup>3</sup>Magyar Tudományos Akadémia Geokémiai Kutatólaboratóriuma; Buda-  
pest 1112 Budaörsi út 45

<sup>4</sup>Eötvös Loránd Tudományegyetem, Őslénytani Tanszék; Budapest 1117  
Pázmány Péter sétány 1/c

<sup>5</sup>Magyar Tudományos Akadémia Atommagkutató Intézet; Debrecen 4026  
Bem tér 18/c

*Abstract: The thousand year-old cave ice records information about the Late Holocene environmental changes. Isotope studies are proxies to reveal frozen information. Using <sup>3</sup>H-<sup>3</sup>He and radiocarbon methods few individual ice layers were dated. Furthermore, short term (2.7 cm/y) and long term (0.79–0.9 cm/y) growth rates were calculated. The two growth rates show a ratio of cca. 3:1. Identifying the strata of impurities the different ice producing periods are separated. So the  $\delta^{18}O$  – curve of ice core, which can represent maximum 850±50 years long duration, is divided into intervals according to freezing age.*

### Bevezetés

A barlangi üledékek között egyedi típust képviselnek az egész évben fennmaradó jégképződmények. A jég ilyen hosszú időn keresztül történő megőrződésének éghajlati, hidrográfiai és morfológiai feltételei vannak. A jellegzetes ventilációs ciklus alapján a jeges barlangok két típusát különböztetik meg.

### *Dinamikus barlangok*

A morfológiai feltétel az, hogy több bejáratral rendelkezzen a barlang. A bejáratok között hőmérsékletkülönbség, és ezáltal légnyomáskülönbség lépjen fel, mely állandó légáramlást biztosít a barlangon belül. A légnyomáskülönbség származhat a bejáratok különböző tengerszint feletti magasságából (LAMBERT 1967), de okozhatja a bejáratok eltérő kitettsége is. Ilyen hely-

<sup>1</sup> a tanulmány T43666 sz. OTKA pályázat támogatásával készült

zetben mindig a viszonylagosan hidegebb oldalról történik a levegő beáramlása, és ha a beáramló levegő hőmérséklete az év nagy részében negatív, akkor ez a barlangban szintén fagyponthoz alatti hőmérsékletet tarthat fenn. Ilyen körülmények között a járatrendszerbe kerülő víz – mely elsősorban, a felszíni vizek beszivárgásából származik – megfagy és felhalmozódik.

#### *Statikus barlangok*

Földalatti üregekben akkor is felhalmozódhat, és hosszú időn át megőrződhet a jég, ha csak egy bejáratral rendelkezik a barlang, és a felszíni hőmérséklet az év nagy részében pozitív, sőt jelentősen magasabb nulla foknál.

Ez az eset akkor áll fenn, ha a járatok a bejáratától lejtjenek a barlang belseje felé, így a téli időszakban a hideg – és nagyobb sűrűségű – külső levegő beáramlik a barlangba, és lehűti a belső teret (*RACOVITA-ŞERBAN*, 1990).

Az éghajlati feltételek azt jelentik, hogy a téli időszakban olyan hideg levegőnek olyan hosszú időn keresztül kell a barlangba áramlania, amely eléggé lehűti a rendszert ahhoz, hogy a keletkezett jég ne olvadjon el teljesen. Ha a hideg felhalmozódásának morfológiai és fizikai feltételei adottak, akkor már csak kedvező hidrológiai viszonyokra van szükség a jég megjelenéséhez (*HALAŞ* 1980). Ez azt jelenti, hogy a barlangba víznek kell bejutnia, ami megfagyhat, hiszen ha nem jut víz a lehűlt, illetve lehűlő üregbe, akkor az csak egy hideg mikroklimájú, száraz hely marad. Ámde csak annyi víznek szabad érkeznie, amennyi még nem melegíti fel nagyon az üreget (*HALAŞ* 1984).

Bár a barlangi jégfelhalmozódás és a külső klíma elemeinek kapcsolatát több munkában is részletesen vizsgálták (*TERLANDAY* 1899, *ŞERBAN et al.* 1967, *RAJMAN et al.* 1987, *RACOVITA et al.* 1987, *RACOVITA-ŞERBAN* 1990, *OHATA et al.* 1994a, *OHATA et al.* 1994b), a fenti általános megfogalmazást, azaz hogy a különböző földrajzi szélességeken és tengerszint feletti magasságokban mi az elegendő lehűlés, és mennyi tekinthető elégséges vízutánpótlásnak, még nem sikerült tisztázni.

#### **A jégképződés folyamata statikus barlangokban**

A jégképződés szempontjából egy éves hosszúságú periódus a jégképződés két azonos fázisa között eltelt idő – ez a Kárpátokban például két jéggyarapodási ciklus közti időszak, amely májustól-májusig tart (*RACOVITA-CRACIUN* 1970, *RACOVITA-ŞERBAN* 1990) – és három “évszakra” osztható (*RAJMAN et al.* 1987, *OHATA et al.* 1994a).

### *Lehűlési fázis*

Fő jellemzője, hogy a külső hőmérséklet negatív, és a barlangban nincs folyékony halmazállapotú víz. Ha a külső hőmérséklet alacsonyabb, mint a barlangi, akkor a fajsúly-különbség miatt a járatokba befele indul meg a levegő áramlása. A hideg levegő lehűti a barlang légterét, és ami még fontosabb, a járatrendszer falát, valamint a felhalmozódott jeget is. Ezekben rak tározódik a hőenergia-hiány (megnövekszik a hőfelvevő képessége) – *RAJMAN et al.* (1987) szóhasználatával negatív energia – a többi fázisra.

Ha a külső hőmérséklet nem kisebb a barlangi hőmérsékletnél, akkor nem indul meg légbeáramlás (vagy a korábban működő leáll).

Jégképződés egyik állapot alkalmával sem történik, sőt a lehűlési fázis mindkét állapota jégfogyasztó fázisnak tekinthető a jég szublimációja miatt. A lehűlési fázis novembertől az olvadás megindulásáig tart.

### *Fagyási fázis*

Megjelenik a folyékony halmazállapotú víz (a külső hőmérséklet bármilyen lehet). Akár alacsonyabb a külső hőmérséklet, mint a barlangi, és így megindul a levegő beáramlása, akár magasabb, és szünetel a légáramlás, ebben a fázisban a jég fagyása a legmeghatározóbb folyamat. Ez a jégképződés időszaka. Ennek a fázisnak a jellemző időtartama az olvadás kezdetétől május végéig tart. A jéggé fagyó víz tehát abból a vízből származik, ami ebben az időszakban a barlangba szivárog. Így a jéggyarapodáshoz szükséges víz-utánpótlás a téli hócsapadék olvadásából és a tavaszi esőkből eredhet.

### *Olvadási fázis*

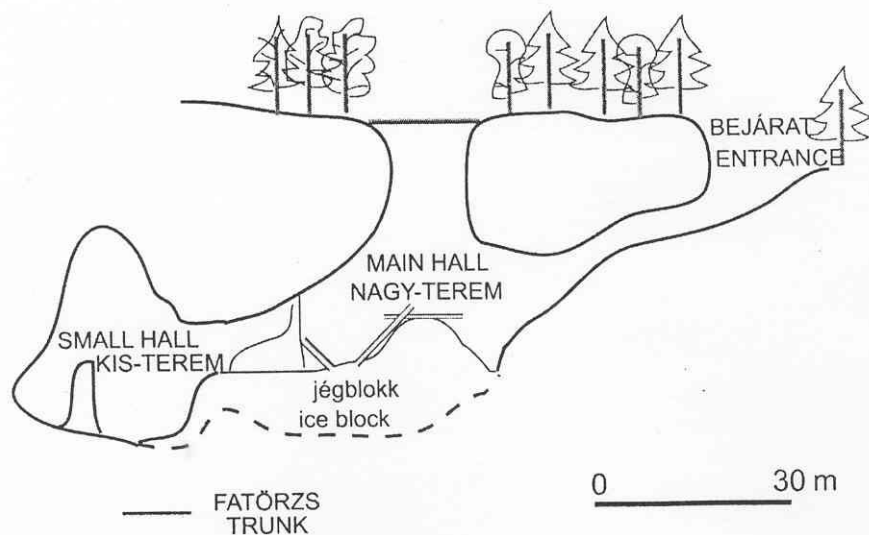
A külső hőmérséklet pozitív, a barlangi kevéssel  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  feletti. Kialakul egy termikus határfelület a barlang és a külső környezet között. A rendszer a határfelület mentén lezajló hőcsere és a beérkező víz által szállított hőenergia révén melegszik, ezért sor kerül az előző fázisban keletkezett jég egy részének (esetleg egészének) olvadására. Ilyen állapotok uralkodnak májustól az első őszi fagyok beköszöntéig, azaz kb. novemberig.

### **Az Eszkimó-jégbarlang**

Az Eszkimó-jégbarlang (Ghețarul Focul Viu,  $46^{\circ} 40' \text{ N}$ ) a Bihar-hegységben 1120 méter tengerszint feletti magasságban helyezkedik el (1. ábra).



1. ábra Az Eszkimó-barlang elhelyezkedése.  
Figure 1: The location of Ghețarul Focul Viu



2. ábra: Az Eszkimó-barlang hosszmetsete  
Figure 2: Longitudinal section of Ghețarul Focul Viu

A lejtősen megközelíthető bejárat az első ún. Nagy-terembe vezet, melynek nagyobb részét jég tölti ki. Innen ereszkedhetünk tovább a hátsó, ún. Kis-terembe (2. ábra). A barlang hossza megközelítőleg 100 méter, legnagyobb szélessége 30 m. A bejáraton kívül a Nagy-terem felszakadt mennyezete is kapcsolatot jelent a külvilág felé. A beszakadt mennyezet teremtette meg azt a különleges helyzetet, amely figyelmünket az Eszkimó-barlangra irányította. Ugyanis a mennyezeti nyíláson át a csapadék és a nyílás peremén álló, majd kidőlő fák a barlangba hullnak. Így a Nagy-teremben – a korábban vázolt statikus barlangi jégképződés folyamatával – kialakult egy 14 méter vastagságúra becsült jégkitöltés. Továbbá a behullott fatörzsek a jégben és a jég felszínén jóval hosszabb ideig megőrződnek, mint a felszíni körülmények között.

## Módszerek

### *Mintagyűjtés*

Az Eszkimó-jégbarlang 14 méter vastag padozati jégébe 2001 novemberében egy 7,6 méter mély furást mélyítettünk egy erre a célra kialakított, talajfűróhoz csatlakoztatható, saját tervezésű fűrófej segítségével. A fűrómagoakat 2 – 8 cm hosszú darabokra szeleteltük a helyszínen, és zárható műanyag tasakokban szállítottuk az MTA Geokémiai Kutatólaboratóriumába oxigénizotópos vizsgálatra.

A barlangban található nagy mennyiségű famaradványból többször is vettünk mintát. A fűrómagban 6,67 m mélységben megjelent famaradványon, és egy, a jégfalból 11,1 m mélységben kiálló ágdarabon radiometrikus kormeghatározás történt. 2002 februárjában a jégpadozat felszínétől számított 0,4–0,5 m, 2,95–3,05 m és 3,95–4,05 m közötti tartományaiból trícium izotópos vizsgálatra vettünk mintákat. Ezt a két mérést az MTA ATOMKI Környezetanalitikai Laboratóriumában végezték el.

### *Mintafeldolgozás*

A jégminták elolvadása után az oxigénizotópos összetételt a következőképp mértük meg. Mintánként 5 ml vizet tettünk 25 ml-es menetes nyakú edényekbe, majd az edényeket kapillárison keresztül vákuumvonalra csatlakoztattuk. Az edények vákuumra szívása után az 5 ml víz fölé analitikai tisztaságú széndioxid gázt engedtünk. A rendszert állandó hőmérsékleten tartva az edényeket 5 órán át rázattuk, a H<sub>2</sub>O és a CO<sub>2</sub> molekulák oxigénjei közti izotópegyensúly elérése érdekében, majd Finnigan MAT delta S tömeg-

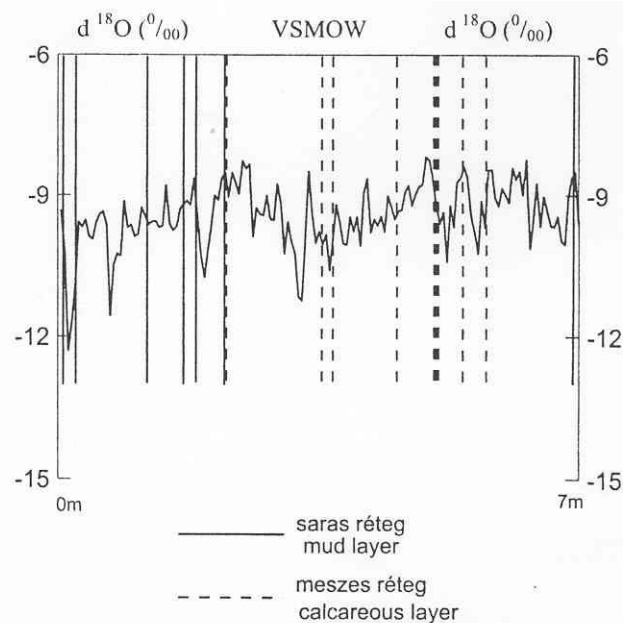
spektrométeren megmértük mind a laborszterd-vízzel, mind a vízmin-tákkal izotópegyensúlyba került széndioxid stabil izotópos összetételét. Az EPSTEIN-MAYEDA (1953) által közölt mérési eljárás többszörösen módosít-tott változatát (FÓRIZS 1995) alkalmaztuk. A mérés hibája  $\pm 0,1\%$ . Az eredményeket a 3. ábra mutatja.

A hidrogén radioaktív izotópja, a trícium természetes úton, a légköri  $^{14}\text{N}$ , és kozmikus sugárzásból származó neutron kölcsönhatásából jön létre a  $^{14}\text{N} + n = ^{12}\text{C} + ^3\text{H}$  magreakció során. Részben mesterséges eredetű is, sőt a légköri termonukleáris robbantások – beszüntetésükig – a természetes úton keletkező trícium mennyiségének több ezerszeresét juttatták a légkörbe, és ezáltal a XX. században a legfontosabb tríciumforrásnak tekinthetők. De az atomerőművekből, valamint az iparból is kerül mesterséges eredetű trícium az atmo- és hidroszférába. A trícium negatív  $\beta$ -bomló izotóp és stabil  $^3\text{He}$  atommá alakul. Felezési ideje 12,43 év.

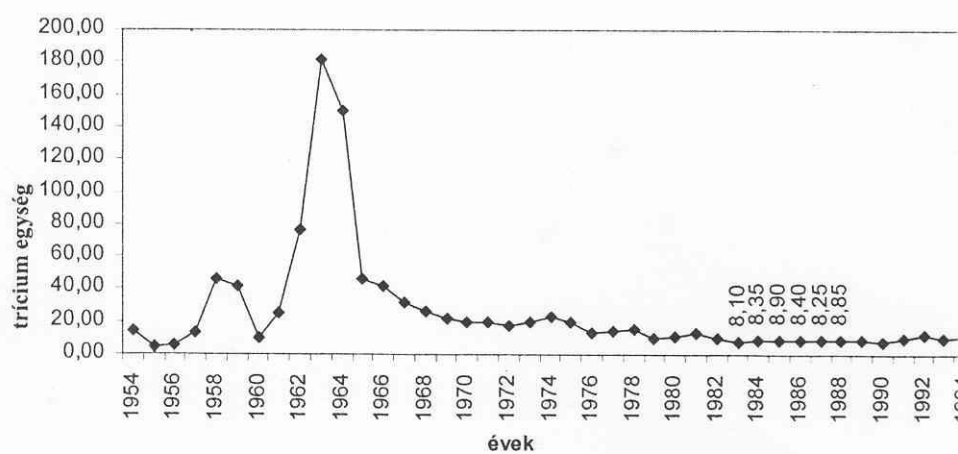
A trícium koncentrációjának mérésére a  $^3\text{H}$ - $^3\text{He}$  módszert alkalmaztuk, vagyis a vízmin-ták trícium tartalmának meghatározását a trícium bom-lásából származó hélium tömegspektrométeres mérésére vezettük vissza. A trícium koncentrációját TE (trícium egység) egységben adtuk meg. 1 TE a koncentrációja a tríciumnak, amennyiben a T/H arány  $10^{-18}$ .

A módszer alkalmazása során a vízmin-tát ledesztilláltuk, kigázosítottuk, majd néhány hónap elmúltával megmértük az időközben összegyűlt hélium mennyiségét. A hélium mennyiségét száraz levegőre kalibrált ne-mesgázizotóp-aránymérő tömegspektrométerrel (VG 5400) mértük.

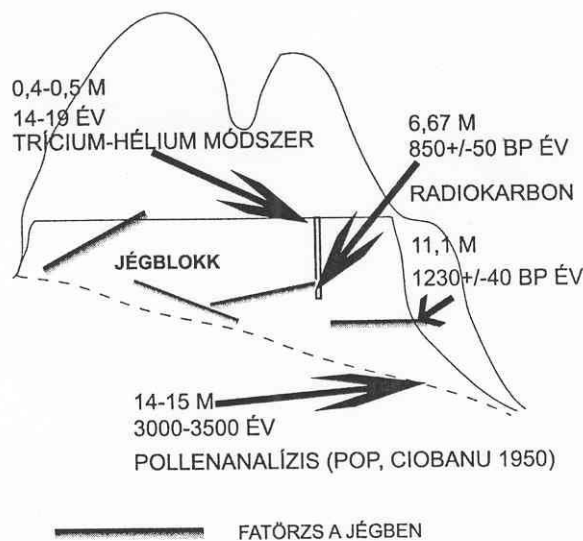
A famaradványok radiokarbon kormeghatározásához a min-tákat a karbonát és a szerves huminsavak kioldásával készítettük elő. A mérések alacsony háttérű mérőhelyen, passzív védelemmel, antikoincidencia védő-számlálóval ellátott gázproporcionális számláló segítségével történtek. A mért  $^{14}\text{C}$  koncentrációból meghatároztuk a konvencionális radiokarbon kort, majd a konvencionális korokhoz tartozó naptári korokat a RADIOCARBON CALIBRATION PROGRAM REV 4.0 szoftverrel kalibráltuk (STUIVERT *et al.* 1993).



3. ábra Az Eszkimó-barlang jegéből nyert oxigénizotópos görbe  
 Figure 3: Oxygen isotope curve of the ice core from Ghetarul Focul Viu cave



4. ábra: 1954 és 1997 közötti évek decembertől májusig figyelembe vett trícium értékeinek 2002-re vonatkoztatott két éves mozgó átlagai Budapesten (Süveges M. szóbeli közlése alapján)  
 Figure 4: Biannual running mean of tritium content in the period December-May of the years 1954-1997 calculated to 2002 at Budapest (Süveges, M. pers. comm.)



5. ábra Az Eszkimó-barlang padozati jegéről összegyűlt adatok.  
Figure 5: Dated depth of the ice block in Ghețarul Focul Vii

## Következtetések, az eredmények értékelése

### A jég gyarapodása

A trícium értékeket a következőképp értelmeztük. A budapesti<sup>2</sup> csapadék – 1954-től a prognosztizált, illetve 1977-től a mért (SÜVEGES 2000, személyes közlés) – átlagos trícium tartalmának havi felbontású adatsorából januártól májusig vettük figyelembe az értékeket hozzájuk véve az előző év decemberének értékét, és ezt átlagoltuk<sup>3</sup>. Majd kiszámítottuk, hogy mennyi lenne az egyes évekből származó minták trícium tartalma 2002-ben. Ezután pedig rendre, az egymást követő évek értékeinek átlagát számítottuk, mivel a vizsgálathoz vett jég réteg képződéséhez körülbelül két évre van szükség. A kapott görbét a 4. ábra mutatja be. Azt elfogadhatjuk, hogy a kisebb mélységből származó minta fiatalabb kell, hogy legyen. A 0,4–0,5 méter

<sup>2</sup> Azért alkalmazhatjuk a budapesti értékeket a bihari adatok értelmezésekor, mert a trícium csapadékban való eloszlását tekintve a két terület azonos zónába esik (DONEY, S. C. et al. 1992).

<sup>3</sup> Tekintettel arra, hogy ennek a hat hónapnak a csapadékból származik egy adott évben a jéggyarapodás.



közötti tartomány trícium tartalma  $8,40 \pm 0,17$  TE-nek adódott. A görbénken ehhez elfogadhatóan közel eső értékeket 1983 és 1988 között találunk (4. ábra), ez alapján a 0,4–0,5 m közti jég 14–19 évesnek mondható. Az évi növekedés átlagos értéke 2,7 cm/év. A 2,95–3,05 méter, és a 3,95–4,05 méter mélység közötti jég trícium tartalma  $4,40 \pm 0,10$  TE és  $5,26 \pm 0,11$  TE volt. Ezeket az értékeket nem sikerült a 4. ábra görbájével megfeleltetni.

A 3–4 méteres mélységben a légköri termionukleáris robbantások kezdeténél idősebb jégre számítottunk. Az atombomba robbantások előtti időben a csapadék természetes tríciumtartalmát a szakértők 5 TE-re becsülik. Ez az érték mára – a 12,43 éves felezési idő miatt – jelentősen lecsökkent, maximum néhány tized TE lehet. A mélyebb rétegekben ezért nem vártunk 0,5 TE-nél nagyobb értéket.

Két esetleges magyarázatot tudunk megfogalmazni a kapott magasabb értékek okaként. Az egyik az, hogy a mélyebb rétegek keletkezési ideje korábbra tehető, mint amekkora intervallumra megbízhatóbb, mérésen alapuló adatok álltak a rendelkezésünkre. Ez azt jelentené, hogy a jég nagyobb mélységben is viszonylag fiatal. A másik magyarázat az, hogy a minták begyűjtésekor a fosszilis jég recens jéggel keveredett, és ez eredményezte a magasabb értékeket. A hipotézisek igazolására, vagy cáfolására ellenőrző vizsgálatok elvégzése szükséges.

A fúrásból 6,67 m mélységből előkerült fa  $850 \pm 50$  BP évesnek (cal AD 1160–1260) adódott, míg a 11,1 m mélyről származó ág  $1230 \pm 40$  (BP) évesnek (cal AD 720–730 vagy 750–870) mutatkozott. A kapott korok tulajdonképpen a befoglaló jég korának jó közelítéseként kezelendők. Ugyanis az nem fordulhat elő, hogy a jég idősebb legyen, mint a fa, mert a jégben süllyedni nem tud a belefagyott fatörzs. Másrésztől lényegesen fiatalabb se lehet a jég, mert ha már belekerült a fa a jégbe, akkor együtt mozog vele, ha esetleg „fennakadna” a fatörzs, akkor a rá nehezedő nyomás összeroppantana a többszöri újrafagyástól leromlott megtartású törzset. Tehát csak annyi-val lehet fiatalabb a jég amennyi a fa eltemetéséhez szükséges idő. A fenti értékekből számítható növekedési ráta 0,78–0,9 cm/év.

A két növekedési ráta közötti arány 3:1. A 2,7 cm/év a rövidebb, míg a 0,78–0,9 cm/év a hosszabb időszakra érvényes növekedés ütemét jellemzi. Az eltérés pedig abból adódik, hogy míg a rövid időszakot vizsgálva a valódi növekedés értékét kapjuk meg, addig a hosszú időintervallum esetében a jégfogyás időszakait<sup>4</sup> is beleszámítjuk a növekedési rátába.

<sup>4</sup> A jégblokk felszínének több éven, évtizeden át történő csökkenésére gondolunk, nem a szezonálisan évente jelentkező olvadási fázisra.

### *A jég fogyása*

A jégfogyási periódusok a klíma melegedési eseményeihez kapcsolódnak. A téli időszak általános jellemzőiből számított Easton-féle hőmérsékleti koeficiens változásainak elemzésével a Bihar-hegység területére 1600-tól napjainkig a klíma három felmelegedési fázisát határozták meg (RACOVITA 1972, RACOVITA-ŞERBAN 1990), amelyek az alábbiak:

- XVIII. sz. eleje,
- 1897-1927,
- 1948-1985.

Azok a periódusok, amikor a jéggyarapodás éves egyenlege negatív, a jégblokk rétegződésében is jellegzetes nyomot hagynak. Az elolvadó jég-rétegekből a szennyeződés (por, növényi maradványok) egy rétegbe halmozódik. A mészkiválások is egykori olvadások emlékeiként értelmezhetők. Hiszen jelenleg is megfigyelhető, amint a nyári szezonális olvadás időszakában a jégsztalagmitok felületének, és a jégblokk felszínének apró mélyedéseiben összegyűlik az iszap-finomságú mészs.

A fúrómagból alkotott oxigénizotópos görbe nem mutatja egyértelműen azokat a rétegeket, ahol visszaolvadási időszakban történt anyagihiány lép fel. Ezért a magokon tett megfigyelések alapján helyeztük el az izotópgörbén a saras és meszes rétegek mélységét jelölő függőleges vonalakat (3. ábra).

Két vonal közötti tartomány két olvadási periódus között keletkezett jégből az olvadás által hátrahagyott réteg. Az izotópos görbénk tehát azért nem mutat nagy változásokat, mert tulajdonképpen csak a jéggyarapodásra kedvező időszakok csapadékvizeinek az izotópos összetétele jelenik meg benne, a jégfogyasztó időszakok, melyek eltérő izotópos nyomokat hagyhattak volna hátra, nem őrződtek meg ebben a speciális barlangi üledéksorozatban.

### **Összefoglalás**

Az Eszkimó-barlang jégkitöltésének vizsgálata során több mélységből és több módszer alkalmazásával nyertünk koradatokat. Az eredményeket az 5. ábrán foglaltuk össze.

A jégfelhalmozódás évezredes történetében felhalmozódási, és olvadási (eróziós) periódusok váltogatják egymást. Ezek eredője szabja meg a jég fejlődésének dinamikáját.

A japán Fuji Fuketsu (36° 24'N, 1120 m) jégbarlangban 1985-86 közötti időszakra az éves nettó jéggyarapodás  $38 \text{ kg/m}^2$  (OHATA et al. 1994a),

ebből magasságváltozásként kifejezve az éves növekményt, 4,2 cm/év értéket kapunk. Ez nagyságrendileg azonos az Eszkimó-jégbarlangban kalkulált rövidtávú növekedési rátával.

A Bihar-hegység egy másik jégkitöltéses barlangjában, a Skărișoarai-jégbarlangban (46° 29'N, 1150 m), a jégpadozat Kis-terem felé eső 18 méter magas jégfalából vett pollenmintákon végzett pollenanalitikai vizsgálatok alapján a jég maximális korát 3000 évre becsülték (POP-CIOBANU 1949). Ez alapján a hosszú intervallumra érvényes növekedési rátát számíthatjuk ki a Skărișoarai-barlang esetében. Az osztás után 0,6 cm/év eredményt kapunk, ez az érték viszont nem esik távol az Eszkimó-jégbarlangban számított hosszútávú rátától.

A fenti egyezések alapján megfogalmazhatjuk, hogy a közepes szélességeken, 1100 m körüli tengerszint feletti magasságban a barlangi jég képződésére vonatkozóan meg kell különböztetnünk egy hosszú és egy rövidtávú növekedési rátát. A két növekedési érték aránya pedig kb. 1:3.

Azok az időszakok, amikor a jégfelszint többéves olvadás érinti, a jégblokkban saras, vagy meszes szennyeződésrétegeket hagynak hátra. Ezeknek a rétegeknek a segítségével tudjuk tagolni az egységesnek tűnő jégrétegsorozatot.

Ezzel egy újabb lépést tettünk a barlangi jégben megőrződött öskörnyezeti információk értelmezése felé, de ennek a gazdag adathalmaznak a feldolgozásához még sok, mélyreható vizsgálat elvégzése szükséges.

## IRODALOM

- EPSTEIN, S.-MAYEDA, T. (1953): Variation of  $^{18}\text{O}$  content of waters from natural sources. - *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 4 p.89–103.
- DONEY, S.C.-D.M. GLOVER-W.J. JENKINS (1992): A model function of the global bomb tritium distribution in precipitation. - *Journal of Geophysical Research* 97, p.5481-5492.
- FÓRIZS I. (1995): Rétegvizek eredete és a hozzájuk keveredő friss talajvíz kimutatása stabilizotóp mérésekkel. - Doktori dolgozat, Kézirat, KLTE, Debrecen
- HALAŠ, J. (1980): Vply fyzikálnych veličín ovzdušia na genezu ľadových útvarov v Dobšinskej a Demänovskej ľadovej jaskyni, - *Slovenský kras* XVIII., p.139–143.
- HALAŠ, J. (1984): Demänovská ľadová jaskyňa – Niektoré poznatky a výsledky z merania teploty vzduchu za obdobie 1970–1982, - *Slovenský kras* XXII., p.111–128.

- LAMBERT, A. (1967): La formation de glace dans les conduits karstiques, les roches fissurées et les pierries, - *Revue de géographie physique et de géologie dynamique* (2) vol. IX. fasc. 4, p. 321–324. Paris
- OHATA, T.-FURUKAWA, T.-HIGUCHI, K. (1994a) Glacioclimatological study of the perennial ice in the Fuji Ice Cave, Japan. Part 1. - Seasonal variation and mechanism of maintenance Arctic and Alpine Reaserch, Vol 26, No. 3, p. 227–237.
- OHATA, T.-FURUKAWA, T.-OSADA, K. (1994b) Glacioclimatological study of the perennial ice in the Fuji Ice Cave, Japan: Part 2. - Interannual variation and relation to climate Arctic and Alpine Reaserch, Vol 26, No. 3, p. 238–244.
- POP, E.-CIOBANU, I. (1949): Analize de polen in Ghiața de la Scărișoara, - *Analele Academiei R.P.R.*, Cluj, p. 28.
- RACOVÎȚA, G.-CRACIUN, V. (1970): Considérations sur la variation saisonnière des formations de glace de la grotte "Ghețarul de la Scărișoara" Livre du centenaire Emil G. Racovitza 1868-1968, Editions de L'academie de la Republique Socialiste de Roumanie Bucurest, p. 587–616.
- RACOVÎȚA, G. (1972): Sur la correlation entre l'évolution du climat et la dynamique des dépôts souterrains de glace de la grotte de Scărișoara, *Trav. Inst. Spéol. "Emil Racovitza"* XI., Bucurest, p. 373–392.
- RACOVÎȚA, G.-ȘERBAN, M.-VIEHMANN, I. (1987): Tendences de long terme dans la dynamique des formations de glace de la Grotte de Scărișoara (Monts de Bihor) *Theoretical and Applied Karstology* vol. 3 p. 143–163.
- RACOVÎȚA, G.-ȘERBAN, M. (1990): Interpretation en vue d'une reconstruction paleoclimatique des particularités structurales et dynamiques du dépôt de glace pérenne de la Grotte de Scărișoara *Studia universitatis Babeș-Bolyai, Geologia* XXXV, 2, p. 47–61.
- RAJMAN, L.-RODA, Š.-RODA ML., Š.-ŠČUKA, J. (1987): Termodynamický režim Silickéj ľadnice, *Slovenský kras* XXV., p. 29–61.
- ȘERBAN, M.-BLAGA, L.-BLAGA, L.-CHIFU, A.-CIOBOTARU, T. (1967): Contribuții la stratigrafia depozitelor de gheață din Ghețarul de la Scărișoara *Lucr. inst. de speol. "Emil Racovita"*, VI. p. 107–140. București
- STUIVER, M.-REIMER, P. J. (1993): Extended <sup>14</sup>C data base and revised CALIB 3.0 <sup>14</sup>C age calibration program. *In: Stuiver, M., Long, A.-Kra, R. S., (szerk.), Calibration Radiocarbon* 35/1 p.215–231.
- TERLANDAY E. (1899): A' s zilicei jégbarlangról, - *Természet Tudományi Közlöny* 25., p. 404–411.